



Et energirenoveret dannebrogsvindues energimæssige egenskaber

Duer, Karsten

Publication date:
2000

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Duer, K. (2000). *Et energirenoveret dannebrogsvindues energimæssige egenskaber*. BYG Sagsrapport No. SR 00-30

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Karsten Duer

Et energirenoveret
dannebrogsvindues
Energimæssige egenskaber

OKTOBER
2000

SR-0030

Revideret

Februar 2001

ISSN 1396-402X

INDHOLDSFORTEGNELSE

1.	INDLEDNING.....	1
2.	BESKRIVELSE AF THERM.....	2
3.	UNDERSØGTE VINDUER.....	2
4.	FREMGANGSMÅDE	4
4.1	RANDBETINGELSER.....	4
4.2	BEREGNING AF RAMME-KARMPROFILERS U-VÆRDIER	5
4.3	BEREGNING AF RUDERS U-VÆRDIER	5
4.4	BEREGNING AF RUDERS G-VÆRDIER.....	6
5.	RESULTATER	7
5.1	BEREGNEDE U-VÆRDIER.....	7
5.2	BEREGNEDE G-VÆRDIER	9
5.3	ENERGITILSKUD	11

1. INDLEDNING

Nærværende rapport beskriver beregning af varmetransmissionskoefficient (U-værdi) og total solenergitransmittans (g-værdi) for et konkret dannebrogsvindue før og efter energirenovering. De energimæssige effekter af forskellige typer energirenovering er beregningsmæssigt undersøgt ved hjælp af beregningsprogrammet THERM2.0 /1/ (bestemmelse af ramme-karmdelens U-værdi) samt beregningsprogrammerne WIS /2/ og Pilkingtons GLAS98 (rudedelens U-værdi og g-værdi)

Undersøgelserne er gennemført på Danmarks Tekniske Universitet, BYG•DTU for Raadvad Centret.

Rapporten er en revision af tidligere rapport udgivet af Institut for Bygninger og Energi, DTU i 2000. Ændringerne i nærværende version vedrører beregning af U-værdier for dannebrogsvindue med tre forskellige forsatsløsninger. Metoden til at udføre sådanne beregninger er endnu ikke fuldstændig fastlagt, men den metode, der er anvendt i nærværende revision er i overensstemmelse med retningslinierne angivet i ”Energimærkning. Tekniske bestemmelser for forsatsvinduer” 2. udkast januar 2001. Den her anvendte beregningsmetode har resulteret i lidt højere U-værdier end den først anvendte.

2. BESKRIVELSE AF THERM

Beregningsprogrammet THERM2.0 er udviklet af Windows and Daylighting Group ved Lawrence Berkely National Laboratory, Californien USA. THERM benytter en 2-D beregningsmodel baseret på finite element metoden (FEM). Finite element metoden kræver, at det undersøgte tværsnit deles op i et stort antal delarealer ved hjælp af et finmasket net. Ved anvendelse af de fleste FEM programmer sker netinddelingen manuelt dvs. brugerens vurderinger og erfaringer afgør hvorledes netinddelingen ender med at se ud. Netinddelingen er ikke uvæsentlig for beregningsresultatet og to forskellige brugere kan således nemt få to forskellige beregningsresultater ud fra samme grundprofil. Herudover er de fleste FEM programmer begrænset til kun at kunne anvende rektangulære delarealer ved beregningerne. Fordelen ved THERM er, at nettet genereres automatisk af THERM og at programmet er i stand til også at håndtere delarealer, der ikke er rektangulære, dvs. der er mulighed for at foretage beregninger på "skæve" geometrier.

3. UNDERSØGTE VINDUER

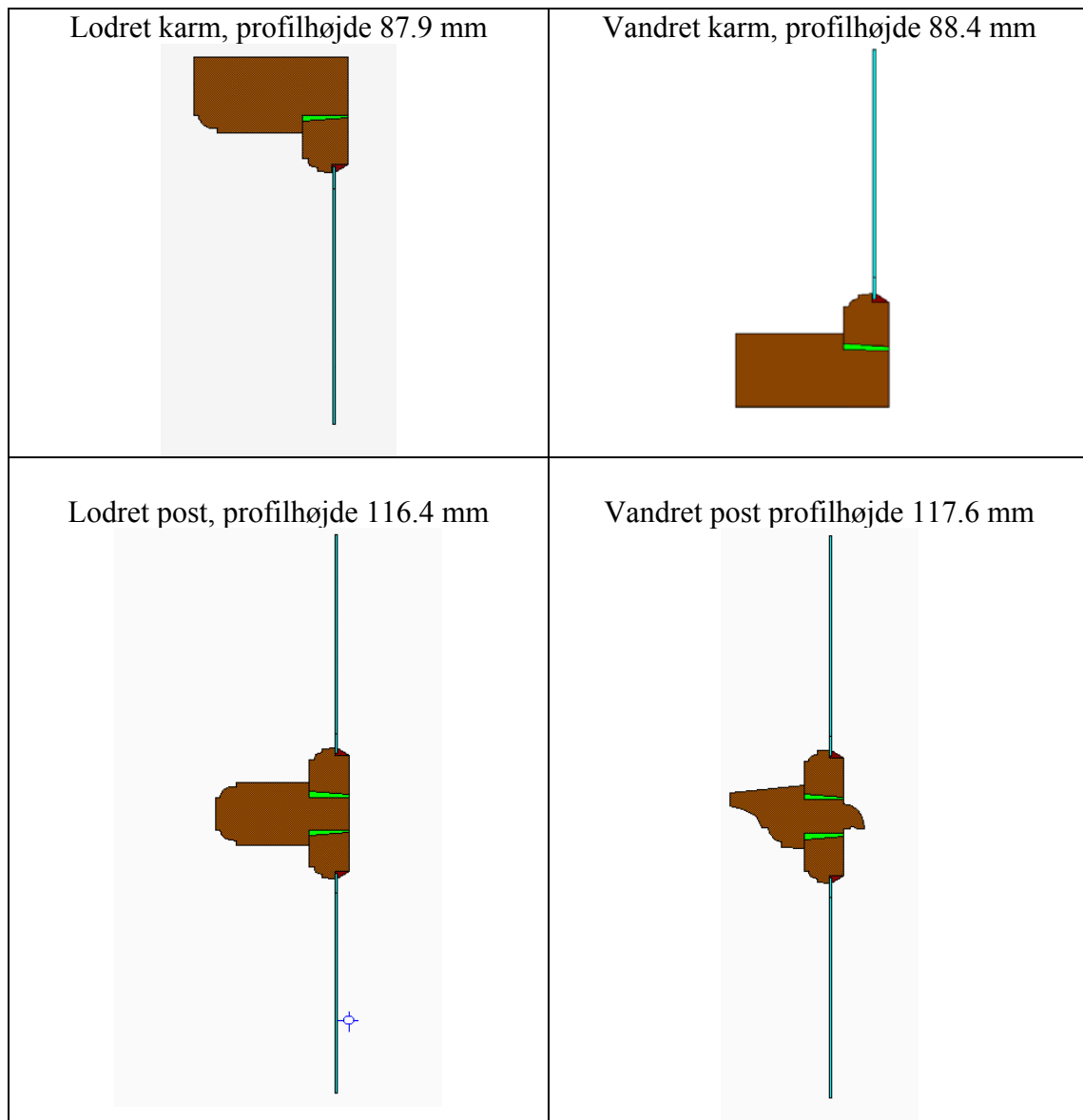
Basis for undersøgelserne er et konkret dannebrogsvindue opmålt og optegnet af Raadvad Centret. Profilerne for basisvinduet er vist i figur 1, hvor profilerne er vist som de tværsnit, der er undersøgt i Therm. Vinduets samlede størrelse er (b x h) 1163 x 1834 mm

Basisvinduet er forsynet med et enkelt lag glas og regnes i nærværende undersøgelser som lufttæt. I undersøgelserne er basisvinduet forsynet med forskellige typer energirenovering:

1. Forsatsvindue med almindeligt glas, glasafstand 109 mm
2. Forsatsvindue med energiglas (hård lavemissionsbelægning), glasafstand 109 mm
3. Forsatsvindue med to-lags kryptonfyldt energirude, glasafstand 93 og 9 mm
4. Optoglas med energiglas, glasafstand 27 mm
5. Koblet vindue med energiglas, glasafstand 33 mm

Energiglasset i tilfældene 2, 4 og 5 er i beregningerne forudsat at have en emissivitet på 0,16. Forsatsvinduet i tilfælde 3 har en center U-værdi på 1,11 W/m²K. To-lagsruden er forsynet med en kantkonstruktion med rustfrit afstandsprofil, ækvivalent varmeledningsevne for kantkonstruktionen er 0,91 W/mK. En oversigt over de undersøgte rudekonstruktioner er vist i Tabel **Fejl! Ukendt argument for parameter..**

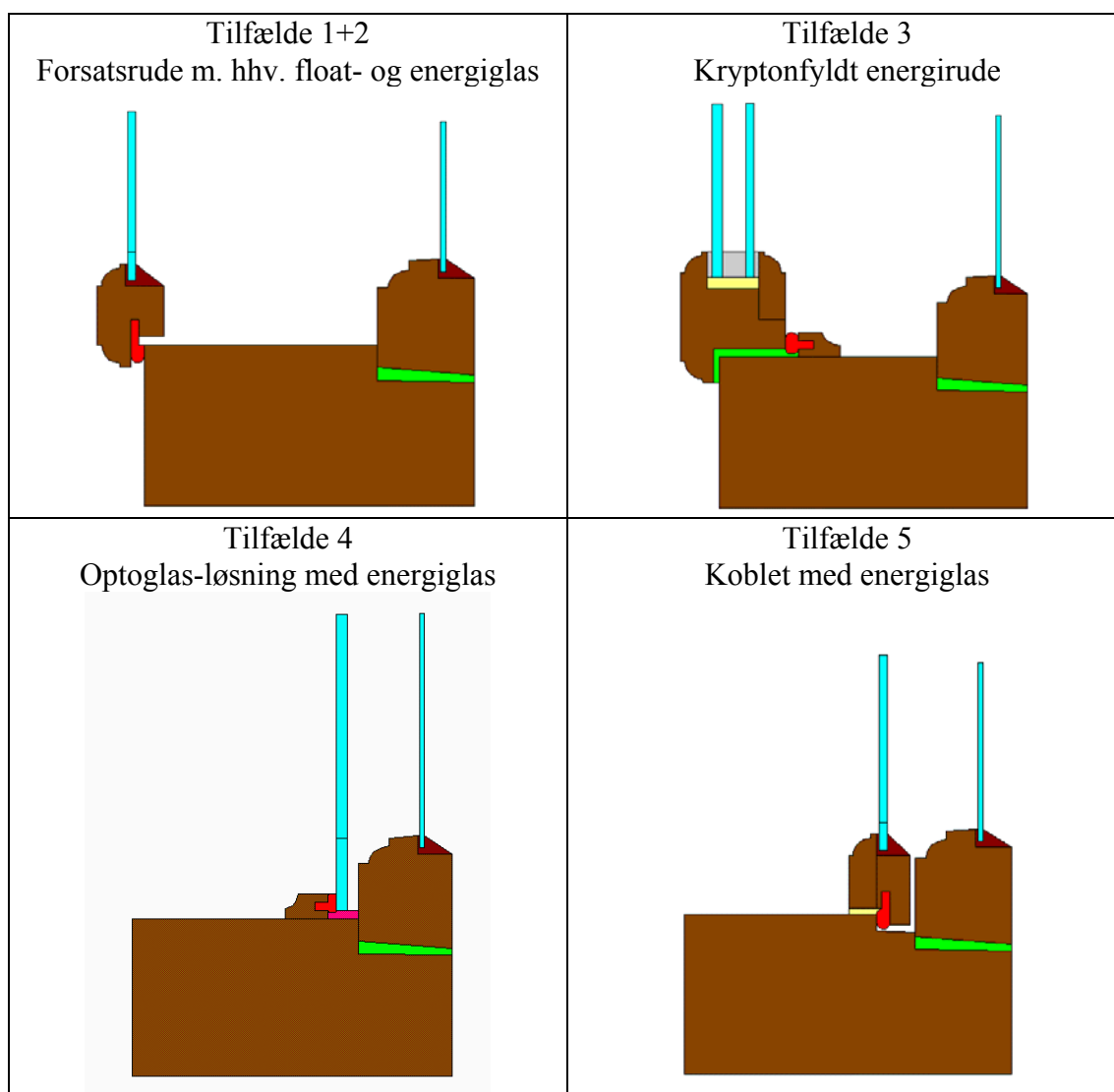
For tilfældene 1 til 5 ovenfor er betydningen af sprosser i yderste lag glas tillige undersøgt både mht. U-værdi og g-værdi.



Figur *Fejl! Ukendt argument for parameter.* Profiler i basis dannebrogsvindue.
Profiler hentet fra Therm

Tabel *Fejl! Ukendt argument for parameter.* Oversigt over rudekonstruktioner

id nr.	Opbygning	Lavemissionsbelægning Position/type	Gasart
0	3	-	-
1	3-109-3	-	luft
2	3-109-4	pos. 3/hård	luft
3	3-93-3-9-4	pos. 5/blød	luft – 10%luft/90%krypton
4	3-27-4	pos.3/hård	luft
5	3-33-4	pos. 3/hård	luft



Figur Fejl! Ukendt argument for parameter. Illustration af de undersøgte energirenoveringsmodeller. Profiler hentet fra Therm.

4. FREMGANGSMÅDE

4.1 Randbetingelser

Der er i overensstemmelse med EN673 /3/ og prEN 10077-2 /4/ regnet med følgende randbetingelser:

	Inde	Ude
Temperatur	20°C	0°C
Varmeoverføringskoefficient, frie flader	8 W/m ² K	23 W/m ² K
Varmeoverføringskoefficient, reduceret stråling	5 W/m ² K	-

Lukkede hulrum er regnet som uventilerede, hulrum med forbindelse til det fri med spaltebredde < 10 mm er regnet som let ventilerede hulrum.

4.2 Beregning af ramme-karmprofilers U-værdier

Ved beregningerne er ramme-karmprofilernes U-værdier fortrinsvis bestemt i henhold til prEN 10077-2 version februar 2000 /4/. Der er dog anvendt en let modificeret fremgangsmåde:

prEN10077 er primært udviklet til at karakterisere vinduer med to-lags termoruder. Metoden bygger på en opsplitning af varmemestrømmen gennem vinduets elementer i de tre dele U_{ramme} , U_{rude} og Ψ_{kant} . Ψ_{kant} karakteriserer kuldebroeffekten af rudens afstandsprofil. Opsplitningen sker beregningsmæssigt ved at gennemføre to beregningstrin: Først beregnes rammens U-værdi ved i beregningsmodellen at erstatte ruden med et isoleringspanel med varmeledningsevne på 0.035 W/m²K. Nu beregnes varmemestrømmen gennem ramme + panel. Herefter fratrækkes den en-dimensionelle varmemestrøm gennem panelet, hvorved rammens U-værdi kan udregnes. I næste beregningstrin erstattes isoleringspanelet med ruden inkl. kantkonstruktion og varmemestrømmen gennem ramme + rude beregnes. Så fratrækkes varmemestrømmen gennem rammen (fundet i forrige trin) og den en-dimensionelle varmemestrøm gennem ruden (fundet i et rudeberegningsprogram). Tilbage bliver den lineære transmissionskoefficient Ψ .

De undersøgte konstruktioner adskiller sig i designet en del fra et vindue med to-lags termorude. Problemet i denne metode ligger primært i, at når rudesystemet erstattes med et isoleringspanel af så kraftig dimension som det her er tilfældet (specielt ved forsatsvinduerne) påvirker det den beregnede varmemestrøm til og fra ramme-karmprofilet (isoleringspanelet virker jo som isolering af oversiden af karmen. De her undersøgte vinduer adskiller sig desuden - undtagen tilfælde 3 - fra standardversionen i prEN10077-2, idet rudesystemerne opbygges uden kuldebro i form af afstandsprofil og vinduerne har derfor ikke en udpræget kuldebro i rudesystemet. Her er derfor valgt en lidt anden fremgangsmåde, hvor Ψ -værdien overalt defineres som værende lig 0. Ramme-karmens U-værdi kan derfor bestemmes ud fra modellering af ramme-karmprofil og rudesystem samlet og dernæst fratrække den en-dimensionale varmemestrøm gennem rudesystemet.

For tilfældene med forsatsløsninger (nr. 1,2 og 3) er varmemestrømmen gennem rudedelen modelleret ved at tillægge de flader, der vender mod hulrummet en varmeoverføringskoefficient baseret på beregningsresultater fra WIS. Metoden er nærmere beskrevet i Energiforsatsgruppens ”Energimærkning. Tekniske bestemmelser for forsatsvinduer” 2. udkast januar 2001.

4.3 Beregning af ruders U-værdier

Ved beregning af ruders U-værdi er anvendt en kombination af beregningsprogrammerne GLAS 98 og WIS. Førstnævnte indeholder produktdata for konkrete Pilkington produkter, men har nogle begrænsninger mht. beregning på ruder med stor glasafstand. Derfor er der i WIS opbygget rudesystemer med termiske data, der resulterer i samme U-værdier som opnås i GLAS98 i det beregningsområde, der er

dækket af GLAS98. For disse rudesystemer er glasafstanden i WIS-modellen derefter udvidet til de aktuelle glasafstande. Alle U-værdier er således beregnet i WIS på modeller, der er afstemt efter GLAS98.

4.4 Beregning af ruders g-værdier

Alle g-værdier er beregnet i GLAS98 for konkrete Pilkington produkter.

Da der er tale om energirenovering af ældre dannebrogsvinduer med gamle ruder er transmittanserne for ni forskellige gamle glasprøver undersøgt ved spektrale transmittansmålinger på IBE. Målingerne er foretaget med et UV-VIS-NIR Varian Cary 5 spektrofotometer i bølgelængdeområdet 300 – 2500 nm svarende til langt hovedparten af solstrålingens energiindhold. De opnåede resultater er anvendt til at udregne de direkte soltransmittanser (τ_{sol}) og de totale solenergitransmittanser (g) for de ni glasprøver. Transmittanserne er udregnet i henhold til EN410 /5/ og er vist i Tabel **Fejl! Ukendt argument for parameter.:**

*Tabel **Fejl! Ukendt argument for parameter.** Oversigt over optiske data for 10 glasprøver. Beregnet efter EN410. Årstal angiver formodet oprindelsesår*

	1940	1880	1890	1890	1860?	1860?	ukendt	ukendt	1952	float 3 mm
τ_{sol}	85.2	84.5	86.0	82.2	84.7	83.9	79.2	84.4	88.3	-
g	87.0	86.4	87.5	84.7	86.6	86.0	82.5	86.4	89.3	87.0
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%

Som det ses i Tabel **Fejl! Ukendt argument for parameter.** varierer solenergitransmittanserne for de gamle glas en del. På basis af de udførte målinger er det vurderet, at de gamle glas typisk kan beregnes som et 3 mm floatglas.

Ved beregningerne af vinduernes totale solenergitransmittans er denne beregnet for vinkelret indstråling (svarende til EN410) og det er forudsat, at g-værdien for ramme-karmdelen og for evt. sprosser sættes lig 0. Herved kan de resulterende g-værdier bestemmes ud fra glasprocenterne i de forskellige løsninger. Ved beregning af glasprocenterne er anvendt glasarealet i yderste rude (den gamle rude) undtagen for tilfældet med termo forsatsruden. Her strækker forsatsrammen sig ca 9 mm ind over yderrammen på den vandrette over- og underkarm og ca 2 mm ind over yderrammen på oversiden af den vandrette post og glasprocenten er beregnet under hensyntagen til dette.

5. RESULTATER

5.1 Beregnede U-værdier

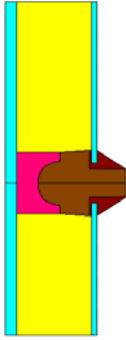
I Tabel **Fejl! Ukendt argument for parameter.** er vist en oversigt over de beregnede U-værdier. For hver af de undersøgte seks tilfælde er angivet U-værdier for ramme-karmprofil, rude samt for et komplet vindue med størrelsen 1163 x 1834mm. Som omtalt i afsnit 4.2 er U-værdierne beregnet for en Ψ -værdi på 0.

*Tabel **Fejl! Ukendt argument for parameter.** Oversigt over beregnede U-værdier. U-værdier beregnet med $\Psi = 0$.*

	Lodret karm	Vandret karm	Lodret post	Vandret post	Urude	Utotal
0. Basis	2.01	2.01	2.40	2.38	5.83	4.44
1. Forsatsrude uden belægning	1.59	1.48	1.80	2.00	2.88	2.42
2. Forsatsrude med hård lavemissions- belægning	1.32	1.26	1.43	1.45	1.92	1.70
3. Forsatsrude med to-lags energirude	1.79	1.76	2.17	2.14	0.89	1.29
4. Optoglas med hård lavemissions- belægning	1.50	1.50	1.69	1.74	1.75	1.69
5. Koblet med hård lavemissions- belægning	1.42	1.42	1.57	1.63	1.78	1.67
	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K	W/m ² K

I tilfælde 4 (optoglas) og 5 (koblet) har Raadvad Centret ønsket en beregning af sprossers indflydelse på vinduernes samlede U-værdi. Dette er gennemført ved at opbygge den i Figur **Fejl! Ukendt argument for parameter.** viste Therm model. Her er mellemrummet mellem glaslagene modelleret som et materiale med en termiske modstand svarende til modstanden af mellemrummet i ruden. (Samme metode er anvendt i alle modellerne). Mellemrummet mellem Optoglasset og sprossen er modelleret i Therm som et lukket hulrum, hvor den konvektive varmestrøm modelleres ifølge prEN10077-2 og den strålingsmæssige del modelleres ved en detaljeret strålingsmodel. Beregningsmetoden er så detaljeret som mulig i Therm, men er stadig forsimplet i forhold til virkeligheden og de virkelige luftbevægelser i ruden kan ikke modelleres helt korrekt. Metoden forventes alligevel at give et godt fingerpeg om den termiske effekt af sprossen. Ved at beregne U-værdien af det i Figur **Fejl! Ukendt argument for parameter.** viste profil og sammenholde

resultatet med rudesystemets U-værdi fås følgende resultat: $U_{\text{sprosse+rude}}=1.79 \text{ W/m}^2\text{K}$
og $U_{\text{rude}}=1.76 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Figur Fejl! Ukendt argument for parameter. Sprosse i optoglas-rude

Førstnævnte er beregnet for sprosse + 12 cm rude til hver side, stort set svarende til sprosseafstanden i et småsprosset vindue. Som forventet er der kun beskeden forskel mellem de beregnede U-værdier og det konkluderes, at den termiske effekt af sprosserne er for lille i forhold til beregningsusikkerheden til at retfærdiggøre en medregning.

5.2 Beregnede g-værdier

Som tidligere omtalt beregnes g-værdierne ud fra rudesystemernes g-værdi og glasprocenten for den aktuelle vinduesudformning. Alle vinduesudformningerne findes som usprossede, med vandret enkeltsprosse i hver af de nederste fag og som småsprossede, hvor der er i alt otte vandrette og fire lodrette sprosser i vinduet. De beregnede g-værdier ses af Tabel *Fejl! Ukendt argument for parameter.* - Tabel *Fejl! Ukendt argument for parameter.*.

Tabel Fejl! Ukendt argument for parameter. Oversigt over g-værdier, usprossede vinduer

	Rude g-værdi	Glas procent	Samlet g-værdi
0. Basis	87	62	53.9
1. Forsatsrude uden belægning	76	62	47.1
2. Forsatsrude med hård lavemissionsbelægning	71	62	44.0
3. Forsatsrude med to-lags energirude	54	61	32.9
4. Optoglas med hård lavemissionsbelægning	71	62	44.0
5. Koblet med hård lavemissionsbelægning	71	62	44.0
	%	%	%

Tabel Fejl! Ukendt argument for parameter. Oversigt over g-værdier, enkeltsprossede vinduer

	Rude g-værdi	Glas procent	Samlet g-værdi
0. Basis	87	61	53.1
1. Forsatsrude uden belægning	76	61	46.4
2. Forsatsrude med hård lavemissionsbelægning	71	61	43.3
3. Forsatsrude med to-lags energirude	54	60	32.4
4. Optoglas med hård lavemissionsbelægning	71	61	43.3
5. Koblet med hård lavemissionsbelægning	71	61	43.3
	%	%	%

Tabel Fejl! Ukendt argument for parameter. Oversigt over g-værdier, småsprossede vinduer

	Rude g-værdi	Glas procent	Samlet g-værdi
0. Basis	87	55	47.9
1. Forsatsrude uden belægning	76	55	41.8
2. Forsatsrude med hård lavemissionsbelægning	71	55	39.1
3. Forsatsrude med to-lags energirude	54	54	29.2
4. Optoglas med hård lavemissionsbelægning	71	55	39.1
5. Koblet med hård lavemissionsbelægning	71	55	39.1
	%	%	%

Der gøres opmærksom på, at g-værdierne er beregnet for vinkelret indstråling svarende til EN410. Der tages dermed ikke hensyn til, at en del af den solstrålingen ved ikke-vinkelret indstråling vil ramme ramme-karmdelen mellem glaslagene. Den stråling der rammer karmen mellem glaslagene vil dels blive reflekteret og dels blive absorberet. Det betyder, at noget af energien føres til rummet bag vinduet og noget af energien ledes ud til det fri. Herved bliver de faktiske g-værdier reduceret i forhold til de i tabellerne angivne værdier. Dette er mest udtalt for vinduer med stor afstand mellem glaslagene, her løsninger med forsatsvinduer. En egentlig kvantificering af disse effekter vil bl.a. kræve viden om reflektans/absorptans for ramme-karmdelen og ligger udenfor rammerne af nærværende projekt.

5.3 Energitilskud

På basis af U- og g-værdierne kan de samlede energitilskud som de forskellige vinduestilfælde giver anledning til beregnes efter metoderne angivet i /6/ ud fra formelen $E = 0.7 \cdot 281 \cdot g - 90 \cdot U$, hvor g indsættes som decimaltal (f.x. 0,44). En positiv værdi af E betyder, at vinduet tillader mere solenergi at komme ind i bygningen end der ledes ud som varmetab. Omvendt betyder en negativ værdi, at vinduet taber mere energi end det vinder. Energitilskuddet udregnes over fyringssæsonen i Danmark.

Resultaterne for de undersøgte vinduer fremgår af Tabel **Fejl! Ukendt argument for parameter.** - Tabel **Fejl! Ukendt argument for parameter.**.

*Tabel **Fejl! Ukendt argument for parameter.** Oversigt over energitilskud, usprossede vinduer*

	g-værdi	U-værdi	Energi-tilskud
0. Basis	53.9	4.44	-294
1. Forsatsrude uden belægning	47.1	2.42	-125
2. Forsatsrude med hård lavemissionsbelægning	44.0	1.70	-66
3. Forsatsrude med to-lags energirude	32.9	1.29	-51
4. Optoglas med hård lavemissionsbelægning	44.0	1.69	-66
5. Koblet med hård lavemissionsbelægning	44.0	1.67	-64
	%	W/m²K	kWh/m²

*Tabel **Fejl! Ukendt argument for parameter.** Oversigt over energitilskud, enkeltsprossede vinduer*

	g-værdi	U-værdi	Energi-tilskud
0. Basis	53.1	4.44	-295
1. Forsatsrude uden belægning	46.4	2.42	-127
2. Forsatsrude med hård lavemissionsbelægning	43.3	1.70	-68
3. Forsatsrude med to-lags energirude	32.4	1.29	-52
4. Optoglas med hård lavemissionsbelægning	43.3	1.69	-67
5. Koblet med hård lavemissionsbelægning	43.3	1.67	-65
	%	W/m²K	kWh/m²

Tabel Fejl! Ukendt argument for parameter. Oversigt over energitilskud, småsprossede vinduer

	g-værdi	U-værdi	Energi-tilskud
0. Basis	47.9	4.44	-305
1. Forsatsrude uden belægning	41.8	2.42	-136
2. Forsatsrude med hård lavemissionsbelægning	39.1	1.70	-76
3. Forsatsrude med to-lags energirude	29.2	1.29	-59
4. Optoglas med hård lavemissionsbelægning	39.1	1.69	-75
5. Koblet med hård lavemissionsbelægning	39.1	1.67	-73
	%	W/m ² K	kWh/m ²

Referencer

- /1/ THERM: *A PC Program for Analyzing Two-Dimensional Heat Transfer Through Building Products*.
Window and Daylighting Group, Building Technologies Program
Lawrence Berkely National Laboratory.
Berkely, CA 94720 USA.
- /2/ WIS, Advanced Windows Information System. TNO Building and Construction Research, The Netherlands, 1996.
- /3/ EN673. Glass in building – Determination of thermal transmittance (U value) – Calculation method.
- /4/ prEN 10077-2 Windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance -Part 2: Numerical methods for frames, 29.02.2000
- /5/ EN410. Glass in building – Determination of luminous and solar characteristics of glazing.
- /6/ Ruders og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 5: Energirigtigt valg af ruder og vinduer. Institut for Bygninger and Energi, DTU, 1999